

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 621.007.52

Основные показатели двигательных возможностей роботов

Канд. техн. наук И. И. ПАВЛЕНКО

Пространственные перемещения, выполняемые роботом, характеризуются следующими требованиями: например, условиями подхода схвата к точкам рабочей зоны, особенностями перемещения между ними по различным траекториям и др. Одним из общих показателей, оценивающим эти возможности робота, следует считать коэффициент K_{π} перемещения, представляющий собой отношение реальной величины перемещения схвата к теоретически возможной или же отношения рабочей зоны, в пределах которой может перемещаться схват робота, к полной величине зоны, занимаемой подвижными звеньями робота [1].

В зависимости от кинематической сложности рассматриваемой схемы и специфики анализа, его можно выполнять при перемещении схвата по линии, плоскости и объему.

При перемещении по линии

$$K_{\pi л} = \frac{l}{L},$$

где l — величина перемещения схвата по линии; L — теоретически возможная величина перемещения, которой в ряде случаев соответствует длина руки робота.

При перемещении по плоскости

$$K_{\pi п} = \frac{f}{F},$$

где f — площадь, в пределах которой перемещается схват робота; F — площадь зоны, описываемой звеньями робота при осуществлении этого движения.

При перемещении в объеме

$$K_{\pi о} = \frac{v}{V},$$

где v — объем зоны, в пределах которой перемещается схват робота; V — полный объем, описываемый звеньями робота.

Ориентирующие движения роботов определяются сервисами осевым C_o и плоскости C_{π} схвата [2, 3]. Для более полного анализа кинематики робота каждое из значений сервиса целесообразно определять независимо от другого, что позволит оценить способность робота подводить схват к каждой точке рабочей зоны

с различной ориентацией оси и плоскости схвата. Суммарную оценку ориентирующих движений робота следует определять общим сервисом $C = C_o C_{\pi}$.

Исходным началом исследования ориентирующих движений робота является определение сервиса в любой точке рабочей зоны, когда при различных движениях звеньев руки робота схват не покидает этой точки. Если при этом принять, что звенья робота не должны изменять своего пространственного положения, то в таком исходном состоянии осевой сервис $C_o = 0$, а сервис плоскости схвата (рис. 1, а)

$$C_{\pi} = \frac{\varphi}{2\pi},$$

где φ — максимальный угол изменения ориентации плоскости схвата в этом положении.

При снятии ограничений на возможность перемещения звеньев робота сервис для точки можно определять в базовых (горизонтальной и вертикальной) плоскостях перемещения последнего l_{π} звена руки робота и в объеме.

Осевой сервис в базовой плоскости (рис. 1, б)

$$C_o = \frac{\alpha}{2\pi},$$

где α — угол поворота оси схвата в этой плоскости.

Сервис плоскости схвата изменяется в зависимости от положения его оси, поэтому среднее значение \bar{C}_{π} в базовых плоскостях (рис. 1, в) в пределах угла α поворота оси схвата можно определить из уравнения

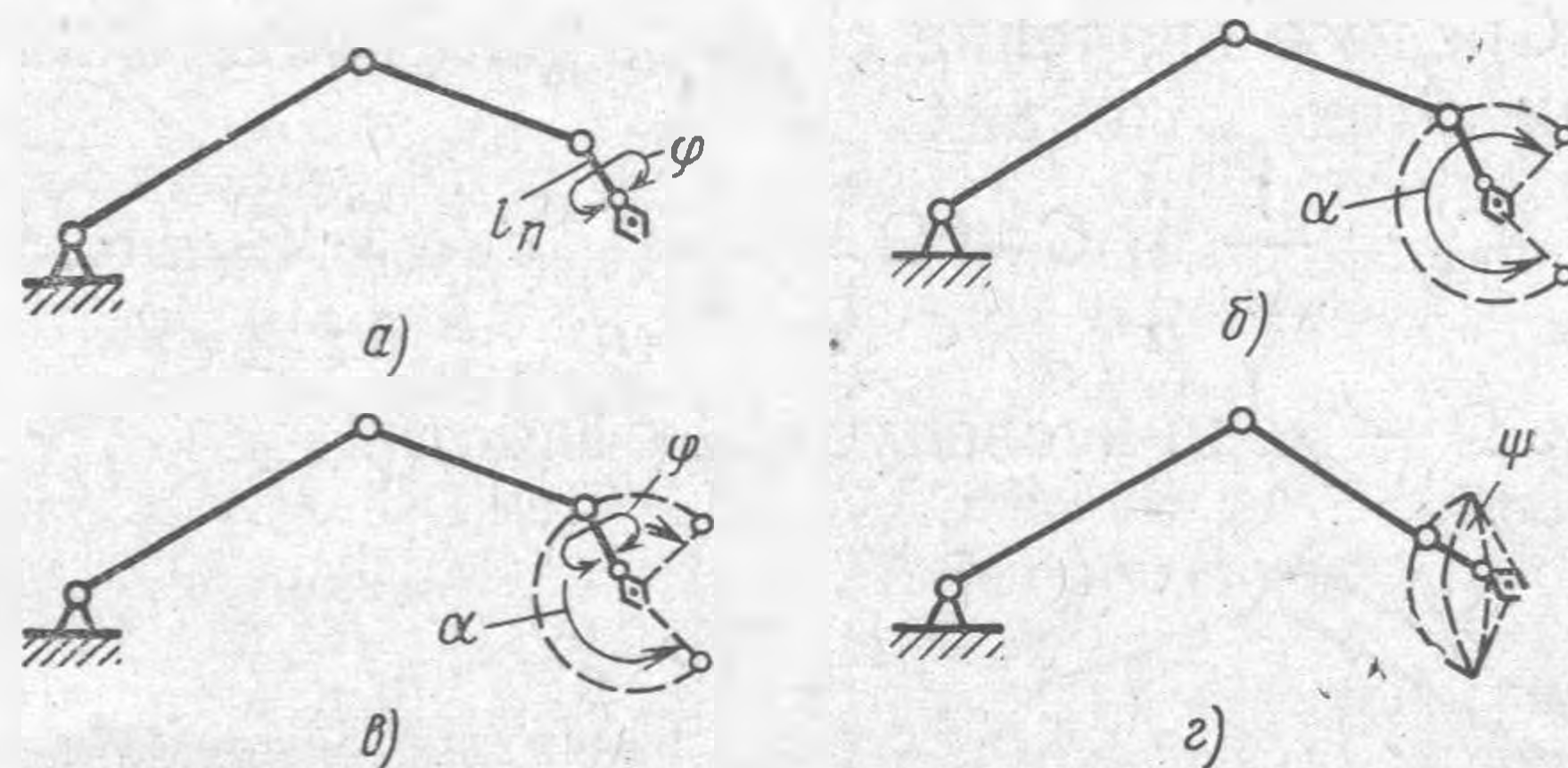


Рис. 1. Варианты ориентирующих движений последнего звена руки робота

$$\bar{C}_n = \frac{1}{\alpha} \int_{(\alpha)} C_n d\alpha.$$

Подынтегральная величина здесь и в последующих уравнениях представляет в общем виде функцию изменения исследуемого параметра.

Если ориентирующие движения плоскости схвата одинаковы при любых положениях его оси, что наиболее характерно для роботов, то общий сервис в этих плоскостях

$$C = \frac{\alpha}{2\pi} \frac{\varphi}{2\pi}.$$

При перемещении звена l_n в объеме (рис. 1,2) относительно рассматриваемой точки осевой сервис

$$C_0 = \frac{\psi}{4\pi},$$

где ψ — пространственный (телесный) угол, внутри которого можно изменять осевую ориентацию схвата.

Среднее значение сервиса плоскости схвата в объеме, ограниченном углом ψ , имеет вид

$$\bar{C}_n = \frac{1}{\psi} \int_{(\psi)} C_n d\psi.$$

При постоянных ориентирующих движениях плоскости схвата в пределах телесного угла общий сервис для точки

$$C = \frac{\psi}{4\pi} \frac{\varphi}{2\pi}.$$

Сравнительный анализ ориентирующих движений кинематических схем роботов, так же как и пространственных перемещений, можно выполнять при условии перемещения схвата по линии, плоскости и в объеме.

При движении центра схвата по линии, значения сервиса, аналогично как и для точки, определяют в базовых плоскостях перемещения l_n последнего звена и в объеме. Среднее значение осевого сервиса схвата в базовых плоскостях

$$\bar{C}_0 = \frac{1}{R} \int_{(R)} C_0 dR,$$

где R — величина перемещений центра схвата по исследуемой линии.

Среднее значение сервиса плоскости схвата при этих условиях

$$\bar{C}_n = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} C_n d\Omega = \frac{1}{\Omega} \int_{(R)} dR \int_{(\alpha)} C_n d\alpha,$$

где Ω — мера исследуемой области.

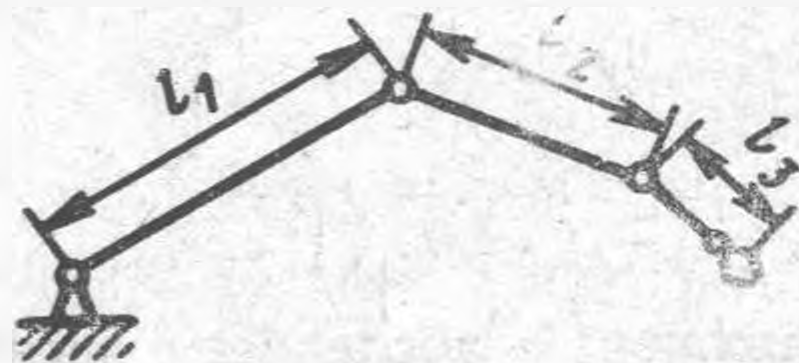
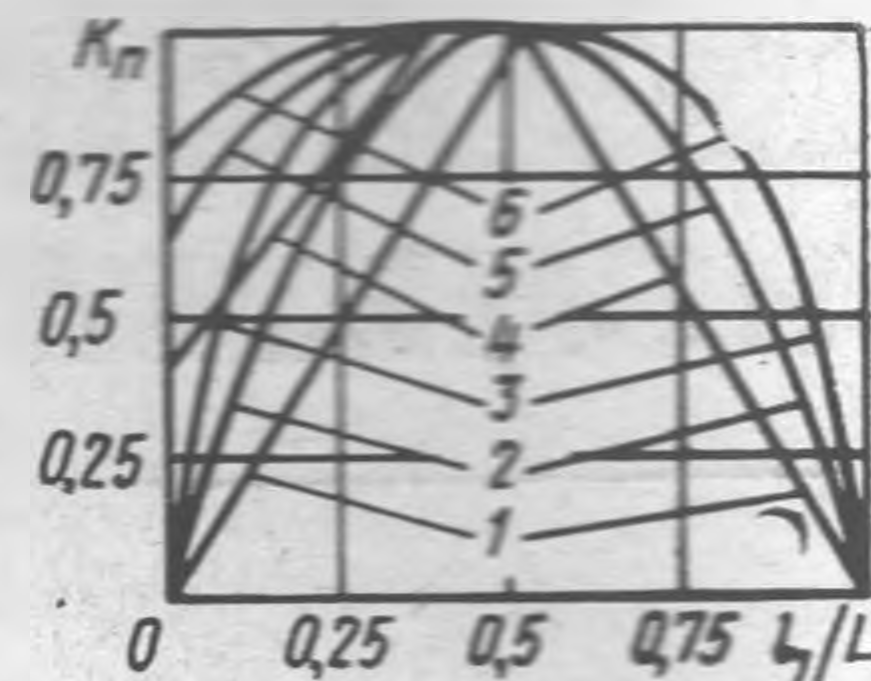


Рис. 2. Идеальная плечелоктевая кинематическая схема робота

Рис. 3. Зависимости коэффициентов перемещения схвата робота по линии $K_{пл}$, по плоскости $K_{пп}$ и в объеме $K_{по}$ от относительной длины l_1/L первого звена руки при различных отношениях l_3/l_2 : 1, 2, 3 — $K_{пл}$, $K_{пп}$ и $K_{по}$ при $l_3/l_2=0$ ($l_3=0$); 4, 5, 6 — $K_{пл}$, $K_{пп}$ и $K_{по}$ при $l_3/l_2=0,25$



Здесь и в последующих примерах средняя величина общего сервиса $\bar{C} = \bar{C}_0 \bar{C}_n$.

Среднее значение осевого сервиса схвата при перемещении его центра по линии, а звена l_n в объеме определяется аналогично, как и в базовых плоскостях, т. е.

$$\bar{C}_0 = \frac{1}{R} \int_{(R)} C_0 dR,$$

где $C_0 = \psi/4\pi$ (для данного случая).

Среднее значение сервиса плоскости схвата при этом

$$\bar{C}_n = \frac{1}{\Omega} \int_{(R)} dR \int_{(\psi)} C_n d\psi.$$

При перемещении центра схвата по некоторой плоскости S среднее значение осевого сервиса в одной из базовых плоскостей, где может перемещаться звено l_n схвата, будет иметь вид

$$\bar{C}_0 = \frac{1}{S} \int_{(S)} C_0 dS,$$

а среднее значение сервиса плоскости схвата

$$\bar{C}_n = \frac{1}{\Omega} \int_{(S)} dS \int_{(\alpha)} C_n d\alpha.$$

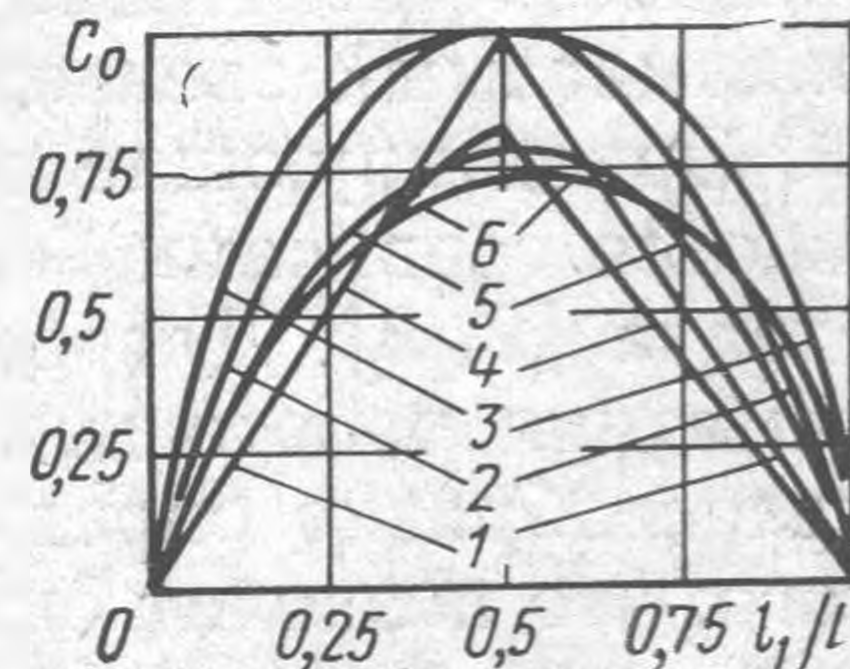
Среднее значение осевого сервиса схвата при перемещении его центра по плоскости, а звена l_n в объеме определяется аналогично, как и при перемещении центра схвата по линии:

$$\bar{C}_0 = \frac{1}{S} \int_{(S)} C_0 dS,$$

а среднее значение сервиса плоскости схвата при этом

$$\bar{C}_n = \frac{1}{\Omega} \int_{(S)} dS \int_{(\psi)} C_n d\psi.$$

Рис. 4. Зависимости осевого сервиса робота по линии $C_{ол}$ по плоскости $C_{оп}$ и в объеме $C_{оо}$ от относительной длины l_1/L первого звена руки при различных отношениях l_3/l_2 : 1, 2, 3 — $C_{ол}$, $C_{оп}$ и $C_{оо}$ при $l_3/l_2=0$ ($l_3=0$); 4, 5, 6 — $C_{ол}$, $C_{оп}$ и $C_{оо}$ при $l_3/l_2=0,25$



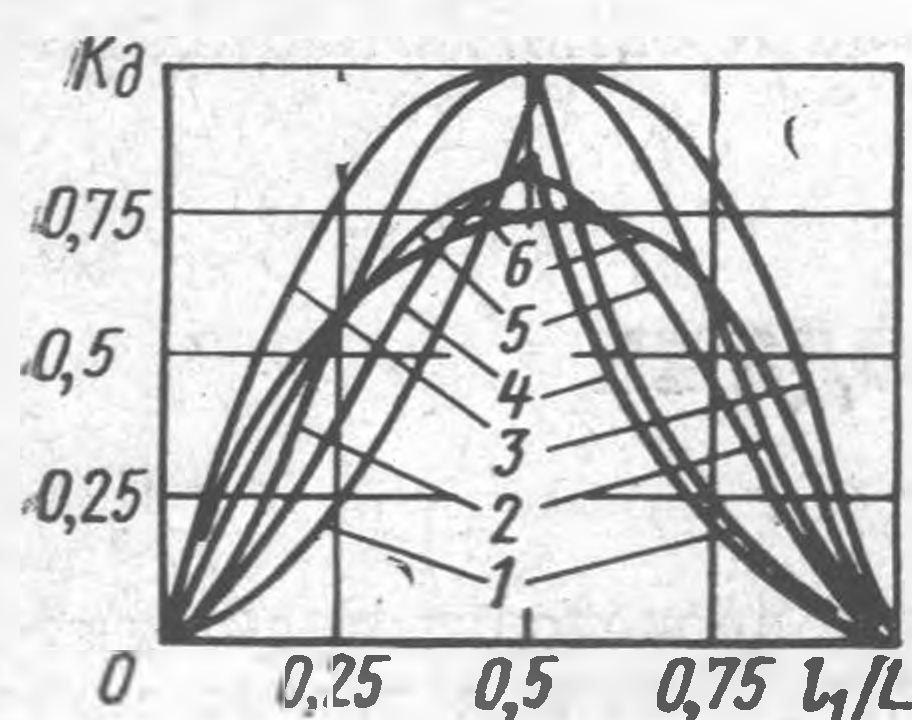


Рис. 5. Зависимости коэффициентов двигательных возможностей робота по линии $K_{дл}$, по плоскости $K_{дп}$ и в объеме $K_{до}$ от относительной длины l_1/L первого звена руки при различных отношениях l_3/l_2 :

1, 2, 3 — $K_{дл}$, $K_{дп}$ и $K_{до}$ при $l_3/l_2=0$ ($l_3=0$); 4, 5, 6 — $K_{дл}$, $K_{дп}$ и $K_{до}$ при $l_3/l_2=0,25$

Общие ориентирующие возможности оси [2] и плоскости схвата при перемещении центра схвата и звена l_n в объеме V определяются соответственно выражениями

$$\bar{C}_o = \frac{1}{V} \int_V C_o dV; \quad \bar{C}_n = \frac{1}{\Omega} \int_V dV \int_{(\psi)} C_n d\psi.$$

Для суммарной оценки возможностей роботов, осуществляющих пространственные перемещения и ориентирования схвата, введем коэффициент возможностей

$$K_d = K_n C.$$

Вычисление коэффициента K_d необходимо выполнять при одинаковых условиях определения K_n и C , т. е. при перемещении схвата по линии, плоскости или объему. Заметим, что целесообразно использовать коэффициент K_d при наличии обоих сомножителей.

По приведенным показателям был выполнен анализ идеальной плечелоктевой кинематической схемы робота (рис. 2). Плечевое и запястное сочленения в этой схеме представляют пары III класса, а локтевое — вращательную пару V класса. Каждое из сочленений допускает полное круговое вращение.

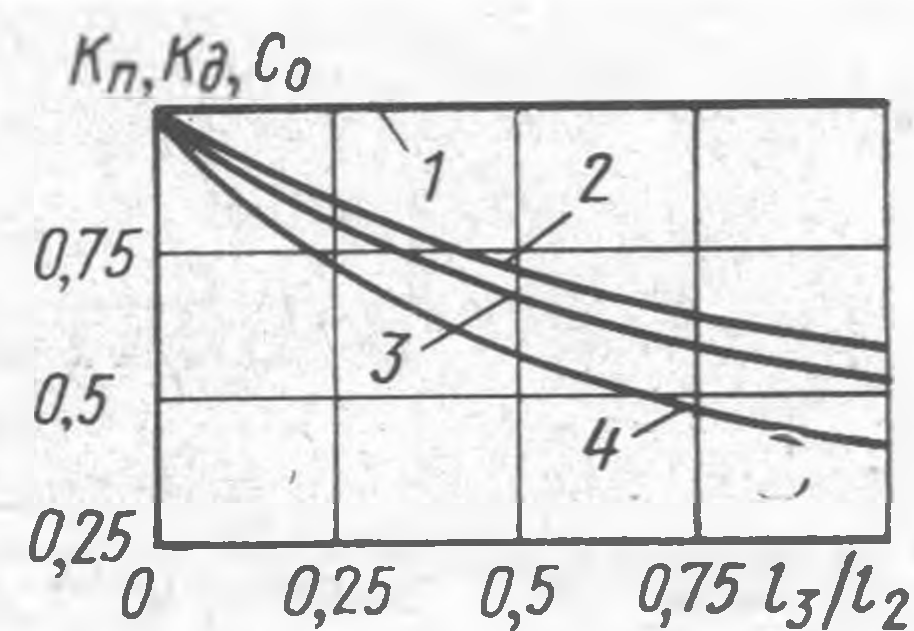
Из полученных зависимостей коэффициентов перемещения схвата от относительной длины первого звена руки робота $l_1/L = \frac{l_1}{l_1 + l_2 + l_3}$ (рис. 3), при различных отношениях l_3/l_2 длин звеньев следует, что при $l_3=0$ оптимальное значение $l_1/L=0,5$.

При увеличении l_3/l_2 можно принять отношение $l_1/L < 0,5$. Так, при $l_3/l_2=0,25$ оптимальная величина l_1/L находится в пределах 0,35—0,5. В этих пределах изменение относительной длины l_1/L первого звена руки, практически не влияя на величину коэффициентов перемещений, обеспечивает максимальное их значение, что особенно заметно при переходе к объемным характеристикам. При $l_1/L > 0,5$ изменение коэффициента K_n не зависит от величины l_3/l_2 .

Полное вращение схвата вокруг собственной оси в любом его положении ($C_n=1$) приводит к тому, что при принятых исходных условиях общие ориентирующие движения робота по величине будут равны ориентирующим движениям оси схвата ($C=C_o$). Ориентирующие движения последнего звена l_3 руки в пло-

Рис. 6. Зависимости коэффициентов перемещений K_n и двигательных возможностей K_d , а также сервиса C_o от относительной длины l_3/l_2 второго и третьего звена руки при $l_1/L=0,5$:

1 — $K_{пл}$, $K_{пп}$ и $K_{по}$; 2 — $C_{ол}$, $K_{дл}$; 3 — $C_{оп}$, $K_{дп}$; 4 — $C_{оо}$, $K_{до}$



скости или объеме относительно точек рабочей зоны почти одинаковы между собой.

Из приведенной на рис. 4 зависимости C_o от величины l_1/L видно, что наибольшая величина ориентирующих движений наблюдается при $l_1/L=0,5$. Увеличение l_3/l_2 ведет к незначительному росту сервиса при перемещении центра схвата в плоскости ($C_{оп}$) и в объеме ($C_{оо}$).

Максимальные двигательные возможности робота (рис. 5) также будут при $l_1/L=0,5$. На величину K_d больше влияют ориентирующие движения, поэтому целесообразно увеличить длину первого звена руки, если важны объемные показатели.

Влияние длин второго и третьего звеньев руки (l_3/l_2) на рассмотренные характеристики робота при $l_1/L=0,5$ показано на рис. 6. Так как при $l_1/L=0,5$ коэффициенты перемещений равны единице, то при увеличении l_3/l_2 одинаково уменьшаются C_o и K_d .

Поэтому для идеальной плечелоктевой схемы робота необходимо, чтобы $l_3 \rightarrow 0$. Наличие в реальных конструкциях роботов ограничений на углы поворотов, а также учет конкретного их функционального назначения приведут к другим оптимальным значениям длин звеньев.

Использование предложенных показателей позволяет более полно анализировать двигательные возможности роботов любой сложности и решать вопрос выбора оптимальных кинематических схем с наиболее приемлемыми геометрическими и другими характеристиками.

По этим показателям можно проанализировать не только двигательные возможности робота по перемещению и ориентированию схвата, но и возможности других звеньев с учетом различных ограничений, что позволит оценить их способности по выполнению операций в рабочей зоне с препятствиями.

Список литературы

1. Реформатский И. А., Мотин Ю. Д., Нужин В. Н. Рациональный выбор систем дистанционной передачи движений и усилий (СДПДУ). — В сб.: Механика машин, вып. 46. М.: Наука, 1974, с. 58—61.
2. Особенности кинематики манипуляторов и метод объемов / Виноградов И. Б., Кобринский А. Е., Степенко Ю. А., Тывес Л. И. — В сб.: Механика машин, вып. 27—28. М.: Наука, 1971, с. 5—16.
3. Павленко И. И. Кинематика кисти промышленных роботов. — Вестник машиностроения, 1979, № 1, с. 28—30.